

# 捕食者・被食者間相互作用に基づくカラーパターン進化システム

1M-9

小鹿明德 有田隆也  
名古屋大学

## 1. はじめに

自然界に存在する生物の体表の模様は、蝶の羽などに典型的に見られるように非常に多様である。これらの模様は偶然によって作られたものではなく、その生物の生息する環境や生存競争により、自分にとって有利な模様へと進化した結果と解釈することが出来る。本研究では、このような進化を引き起こす要因として捕食者と被食者間の相互作用<sup>1),2)</sup>に着目し、その共進化メカニズムを抽象化し、カラーパターンを生成、進化させるモデル<sup>3)</sup>を設計した。それに基づき、人工生命的手法を用いた創発システムを計算機上に実現し、カラーパターン生成における共進化のダイナミクスを解析した。

## 2. システム設計

### 2.1. システム概要

設計したモデルの概要を図1に示す。

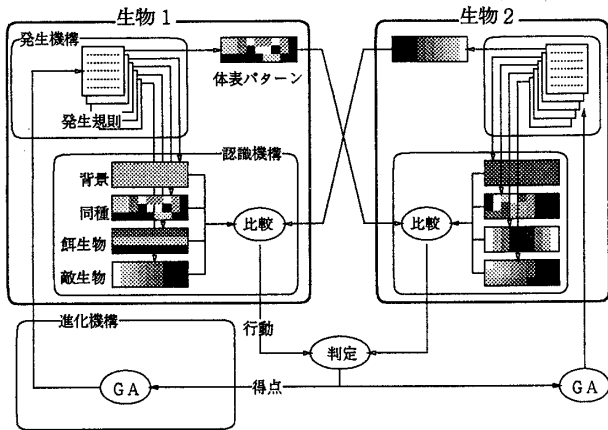


図1 パターン進化モデル概要

個体は、発生機構、認識機構を持っている。発生機構では、各個体が持っている5つのパターン発生文法を基に5つのカラーパターンを生成する。1つは自らの体表パターンとして使われ、残りは相手認識用のパターンとして認識機構に送られる。認識機構は相手の体表パターンと自分の相手認識用パターンを比較し、相手が捕食者、被食者、同種、背景(生物なし)のいずれであるかを判断する。

相手認識を基に得られた得点は進化機構へと送られ、次世代個体の生成に用いられる。次世代個体は、遺伝子であるパターン生成文法に遺伝的操作を行なうことで生成される。

### 2.2. パターン発生

パターン生成文法は  $G = \{\Sigma, C, P, L, \omega, d\}$  で表される。 $\Sigma$  はパターン発生時の状態を表す記号の集合、 $C$  はパターンに採色される色の集合を表す。

$$\Sigma = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$$

$$C = \{color_1, color_2, \dots, color_m\}$$

$P$  は状態書き換え規則の集合、 $L$  は  $\Sigma$  から  $C$  への関数、

\*A Color Pattern Generation System Based on the Coevolution between Predators and Prey  
Akinori OJIKA Takaya ARITA  
Nagoya University

$\omega$  は初期状態、 $d$  は生成されるパターンの深さを表す。

$$P = \{1: a_1 \Rightarrow (b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14})$$

$$2: a_2 \Rightarrow (b_{21}, b_{22}, b_{23}, b_{24})$$

$$\vdots$$

$$k: a_k \Rightarrow (b_{k1}, b_{k2}, b_{k3}, b_{k4})\}$$

$$L = (s_1, s_2, \dots, s_n) \rightarrow (c_1, c_2, \dots, c_n)$$

$$a_i, b_{ij}, \omega \in \Sigma \quad (i = 1, \dots, k) (j = 1, \dots, 4)$$

$$c_i \in C \quad (i = 1, \dots, n)$$

パターンの発生の様子を図2に示す。

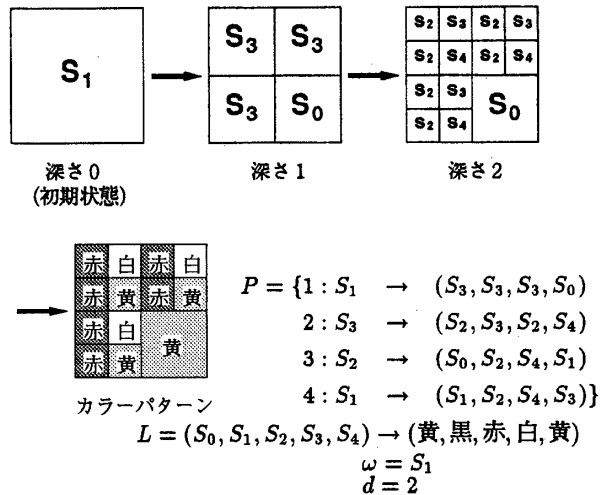


図2 パターン発生例

ある状態からの状態書き換え規則が複数存在した時は、通し番号の小さい規則が適用される。適用可能な規則が見つからない時は、そこで終了する。全ての領域が書き換え出来なくなるか、深さが  $d$  になると、 $L$  を用いてカラーパターンに変換する。

### 2.3. 認識アルゴリズム

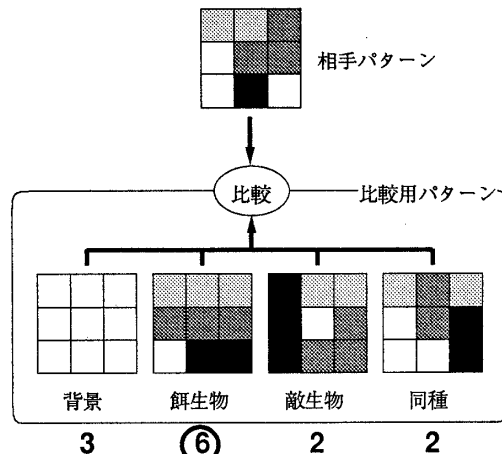


図3 認識アルゴリズム

自分の持つ相手認識用のパターン(捕食者、被食者、同種、背景用の4種)と、相手の体表パターンとを比較し、最も似ているものを選択し、それを、相手の種と認識する。

本研究では、システムをなるべく簡単にするために、色が一致するドットの数をもとの割合と考えた。(図3)

### 2.3. 次世代生成アルゴリズム

全ての生物個体の組合せ、および生物-背景の組合せで、上記の認識操作を行なう。この時、互いの認識結果により、各個体は得点を得る。全ての組合せが終了後、その得点を基にルーレット選択を行ない次世代の個体を生成する。この時パターン生成規則に対し、次のような突然変異操作を行なう。

**複製** 確率  $P_{dup}$  で、状態書き換え規則を複製する。

**削除** 確率  $P_{del}$  で、状態書き換え規則を削除する。

**変更** 確率  $P_{mod}$  で、状態書き換え規則の要素、初期状態、 $L$  を変更する。

**交換** 確率  $P_{swp}$  で、状態書き換え規則の通し番号を交換する。

● 複製 (確率  $P_{dup}$ )

$$\begin{array}{l} 1: s_1 \rightarrow (s_1, s_2, s_1, s_4) \\ 2: s_2 \rightarrow (s_1, s_1, s_2, s_3) \\ (s_1, s_2, s_3) \rightarrow (\text{赤}, \text{青}, \text{黒}) \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} 1: s_1 \rightarrow (s_1, s_2, s_1, s_4) \\ 2: s_1 \rightarrow (s_1, s_2, s_1, s_4) \\ 3: s_2 \rightarrow (s_1, s_1, s_2, s_3) \\ (s_1, s_2, s_3) \rightarrow (\text{赤}, \text{青}, \text{黒}) \end{array}$$

● 削除 (確率  $P_{del}$ )

$$\begin{array}{l} 1: s_1 \rightarrow (s_1, s_2, s_1, s_4) \\ 2: s_3 \rightarrow (s_3, s_2, s_2, s_1) \\ 3: s_2 \rightarrow (s_1, s_1, s_2, s_3) \\ (s_1, s_2, s_3) \rightarrow (\text{赤}, \text{青}, \text{黒}) \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} 1: s_1 \rightarrow (s_1, s_2, s_1, s_4) \\ 2: s_2 \rightarrow (s_1, s_1, s_2, s_3) \\ (s_1, s_2, s_3) \rightarrow (\text{赤}, \text{青}, \text{黒}) \end{array}$$

● 変更 (確率  $P_{mod}$ )

$$\begin{array}{l} 1: s_1 \rightarrow (s_1, s_2, s_1, s_4) \\ 2: s_2 \rightarrow (s_1, s_1, s_2, s_3) \\ (s_1, s_2, s_3) \rightarrow (\text{赤}, \text{青}, \text{黒}) \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} 1: s_1 \rightarrow (s_1, s_2, s_2, s_4) \\ 2: s_2 \rightarrow (s_1, s_1, s_2, s_3) \\ (s_1, s_2, s_3) \rightarrow (\text{赤}, \text{青}, \text{赤}) \end{array}$$

● 交換 (確率  $P_{swp}$ )

$$\begin{array}{l} 1: s_1 \rightarrow (s_1, s_2, s_1, s_4) \\ 2: s_2 \rightarrow (s_1, s_1, s_2, s_3) \\ 3: s_3 \rightarrow (s_3, s_2, s_2, s_1) \\ (s_1, s_2, s_3) \rightarrow (\text{赤}, \text{青}, \text{黒}) \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} 1: s_3 \rightarrow (s_3, s_2, s_2, s_1) \\ 2: s_2 \rightarrow (s_1, s_1, s_2, s_3) \\ 3: s_1 \rightarrow (s_1, s_2, s_1, s_4) \\ (s_1, s_2, s_3) \rightarrow (\text{赤}, \text{青}, \text{黒}) \end{array}$$

図4. 突然変異の例

### 3. 初期実験

上記のモデルを計算機上に実現し初期実験を行なった。システム内の生物種は捕食者・被食者の関係を持った2種、個体数は各25体とする。Σ、Cおよびdはシステムで共通とし、それぞれ10個、4色、6とする。突然変異確率は4種類一律で0.01とする。得失点は表1とする。背景は黒1色のものを用意する。

表1. 認識による得失点表

表1 a) 自分が捕食生物、相手が捕食生物

|    | 同種 | 異  | 同種 | 異 |
|----|----|----|----|---|
| 同種 | -1 | -4 | -1 | 1 |
| 異  | -1 | -6 | -2 | 0 |
| 同種 | -1 | -6 | -2 | 0 |
| 異  | 2  | 0  | 1  | 3 |

表1 b) 自分が捕食生物、相手が被食生物

|    | 同種 | 異  | 同種 | 異  |
|----|----|----|----|----|
| 同種 | -1 | 0  | 0  | -4 |
| 異  | 2  | 3  | 3  | 0  |
| 同種 | -1 | 0  | 0  | -4 |
| 異  | -2 | -1 | -1 | -6 |

表1 c) 自分と相手の同種

|    | 同種 | 異  | 同種 | 異  |
|----|----|----|----|----|
| 同種 | -1 | -2 | 1  | -2 |
| 異  | -2 | -3 | 0  | -3 |
| 同種 | 1  | 0  | 3  | 0  |
| 異  | -2 | -3 | 0  | -3 |

表1 d) 相手の同種

|    | 同種 | 異  |
|----|----|----|
| 同種 | 1  | -1 |
| 異  | -1 | -1 |

図5に生成されたパターンの例を示す。



図5. 体表パターン例

生成されるパターンは、生成アルゴリズムの性質上、自己相似形と呼ばれる図形が良く見られる。

図6は体表パターンが変化した時の結果の例を示す。

| 捕食生物 |     | 被食生物 |     |
|------|-----|------|-----|
| 世代   | 変化先 | 世代   | 変化先 |
| 55   | 同種  | 25   | 敵生物 |
| 90   | 餌生物 | 70   | 背景  |

図6. 実験結果の例

変化先は、他種生物の認識用パターンを表している。例えば、捕食生物は、第55世代頃に、被食生物が同種と判断するパターンに、体表パターンを変化させている。

このことから、捕食生物は、被食生物が近付いてくるようなパターンに変化し、被食生物は、捕食生物から発見されにくいパターンに変化していることがわかる。

図7には平均得点の変化を示す。同図から捕食生物と被食生物は逆の変化をしていることがわかる。ある種が自分に有利になるように進化すれば、相手種にとっては不利になる、すなわち、相手にとって不利になるように進化を行なっていると考えられる。

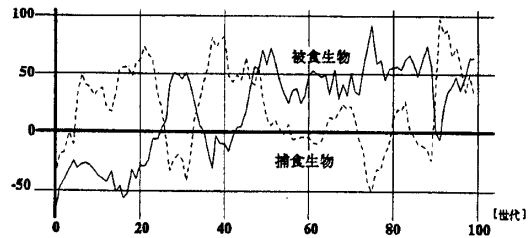


図7 平均得点の変化

### 4. おわりに

生物の捕食/対捕食行動における共進化の力を利用してカラーパターンの自動生成を行なう進化システムを設計した。初期実験の結果、相手にとって不利となるように体表パターンを変化させる現象などが観測され、共進化に基づいたカラーパターンの遷移が確認された。現在、より詳細な解析を行なうと同時に、本システムの応用を検討している。

### 参考文献

- 1) 小鹿明德, 有田隆也, 川口喜三男, “複数種の生物集団の共存する人工生命環境の設計”, 第48回情報処理学会全国大会, 1994-3.
- 2) 有田隆也, 小鹿明德, “捕食関係の定められた生物種の仮想生物の進化に関する検討”, 第6回自律分散システム・シンポジウム, PP. 181-186, 1995-1.
- 3) T. Arita and A. Ojika, “Generation of Color Patterns Based on the Interactions between Predators and Prey”, IEEE International Conference on Evolutionary Computation, pp. 291-294, 1996-5.